1P

УДК 681.518.54

В.А. Резников, П.С. Харченко
Государственный университет информатики и искусственного интеллекта,
г. Донецк, Украина

Использование диагностической информации при настройке ПИД-регуляторов

В работе рассмотрен способ настройки параметров ПИД-регуляторов, который основывается на принципах работоспособности и дефектах, диагностических моделях и симметрии САУ, который позволит автоматизировать процесс наладки, повысить её эффективность и сократить временные затраты, необходимые на её осуществление.

Постановка задачи

В настоящее время ПИД-регуляторы (пропорционально-интегрально-дифференциальные регуляторы), реализованные как аппаратно, так и программно, широко применяются практически во всех отраслях промышленности. Обусловлено это, во-первых, их способностью воздействовать на различные переменные состояния объекта, что обеспечивает качественное управление, а во-вторых, гибкостью их структуры, позволяющей при необходимости достаточно просто реализовывать ПИ- или ПД-управление.

В то же время наличие трех настроечных параметров (причем два из них являются конкурирующими) создает значительные трудности при настройке ПИД-регуляторов на этапах их внедрения и эксплуатации. В литературе описывается большое число способов настройки данных регуляторов [1]. Однако реализация каждого из известных способов сопряжена с определенными трудностями, обусловленными различными причинами (точное знание динамики объекта, необходимость прерывать работу объекта или вводить его в недопустимый режим и т.п.). В результате оказывается, что основными факторами эффективности процесса наладки ПИД-регуляторов являются опыт и интуиция наладчика, которые приобретаются им на протяжении длительного периода работы с конкретным объектом.

Поэтому, несмотря на накопленный в области автоматизации большой научный и практический опыт, задача повышения эффективности процесса наладки ПИД-регуляторов по-прежнему остается актуальной.

В данной статье предлагается способ решения указанной задачи, основывающийся на использовании в процессе настройки параметров ПИД-регуляторов диагностической информации.

Решение задачи

В данной статье предлагается подход к решению задачи настройки параметров ПИД-регулятора, который основывается на следующих положениях:

1) понятие работоспособности САУ;
2) изменение параметров объекта как дефекты;
3) диагностическая модель;
4) симметрия САУ.

Из теории надежности известно, что работоспособность – это состояние изделия, при котором оно способно выполнять заданную функцию с параметрами, установленными требованиями технической документации, в течение расчётного срока службы, а отказ – это нарушение работоспособности.

Наблюдая за работой системы, имеют место определенные ситуации, которые можно описать в виде следующих высказываний:

I_1 – показатели качества системы находятся в заданных пределах;

I_2 – процесс управления «затянут» во времени;

I_3 – управляемая переменная «проскакивает» заданное значение или совершает вокруг него затухающие колебания. С точки зрения надежности две последние ситуации можно рассматривать как отказ системы, проявляющийся в нарушении ее работоспособности [2].

С другой стороны, если приведенные высказывания «перевести» на язык теории автоматического управления, то понятно, что в высказывании I_2 речь идет о снижении быстродействия системы, а в высказывании I_3 – о появлении в системе перерегулирования.

Следовательно, длительность переходного процесса $t_р$ и перерегулирование σ могут быть приняты в качестве показателей эффективности системы [3].

Кроме того, отметим, что в приведенных высказываниях понятия «затянут» и «проскакивает» соответствуют выходам указанных показателей эффективности за пределы установленных областей допустимых значений. Выходы структурных параметров объекта управления за пределы установленных называются дефектами.

Каждый i-й отказ системы, обусловленный дефектами объекта управления, будем описывать с помощью соответствующего симптома S_i^C, который отображает характер i-го отказа и условия, при которых этот отказ имеет место [4]. Каждый k-й дефект объекта управления обозначим D_k^O. Формальное описание зависимости $S_i^C = f\left(D_k^O\right)$ представим в виде диагностической модели (табл. 1), где $R\left(S_i^C, D_k^O\right)$ – функция реализации [5].

Таблица 1 – Диагностическая модель САУ (дефекты объекта)

	S_1^C	…	S_i^C	…
D_1^O	$R\left(S_1^C, D_1^O\right)$	…	$R\left(S_i^C, D_1^O\right)$	…
…	…	…	…	…
D_k^O	$R\left(S_1^C, D_k^O\right)$	…	$R\left(S_i^C, D_k^O\right)$	…
…	…	…	…	…

Поскольку объект управления может находиться только в двух технических состояниях (работоспособное, неработоспособное), $R\left(S_i^C, D_k^O\right)$ является бинарной функцией, то есть

$$R\left(S_i^C, D_k^O\right) = \begin{cases} 1, & S_i^C \Leftarrow D_k^O; \\ 0, & \textit{во всех остальных случаях.} \end{cases} \quad (1)$$

Анализ табл. 1, проведенный с учетом формулы (1), показывает, что в общем случае правомерны такие соотношения:

$$S_i^C = \underset{k}{\vee} D_k^O; \tag{2}$$

$$D_k^O = \underset{i}{\wedge} S_i^C. \tag{3}$$

Положим, что в некоторый момент времени $t = t_1$ какой-либо k-й параметр объекта управления равен $A_k(t_1)$. В результате настройки регулятора его m-й параметр устанавливается равным B_{m1}, что обеспечивает выполнение требований к показателям качества САУ.

Пусть в момент времени $t = t_2$ тот же k-й параметр объекта в силу указанных выше причин стал равным $A_k(t_2)$, что привело к отказу системы. Разность

$$\Delta A_k(t_2) = A_k(t_2) - A_k(t_1) \tag{4}$$

мы назвали дефектом объекта управления D_k^O.

Теперь положим, что после настройки регулятора в момент времени $t = t_1$ мы изменили значение его m-го параметра до величины такой B_{m2}, что это привело к нарушению работоспособности системы, то есть к появлению отказа, описываемого симптомом S_i^C. В таком случае разность

$$\Delta B_m = B_{m2} - B_{m1} \tag{5}$$

можно по аналогии назвать дефектом регулятора D_m^P.

Следовательно, появляется возможность сформировать еще одну диагностическую модель в виде табл. 2.

Таблица 2 – Диагностическая модель САУ (настройки регулятора)

	S_1^C	…	S_i^C	…
D_1^P	$R(S_1^C, D_1^P)$	…	$R(S_i^C, D_1^P)$	…
…	…	…	…	…
D_m^P	$R(S_1^C, D_m^P)$	…	$R(S_i^C, D_m^P)$	…
…	…	…	…	…

Для этого случая также правомерны соотношения:

$$S_i^C = \underset{m}{\vee} D_m^P; \tag{6}$$

$$D_m^P = \underset{i}{\wedge} S_i^C. \tag{7}$$

Таким образом, появляется принципиальная возможность сравнивать между собой две диагностические модели и тем самым при любом i-м отказе системы определять состав и величину настраиваемых параметров регуляторов.

Однако соотношения (2) и (6) показывают, что один и тот же i-й отказ может быть результатом «действия» не одного, а нескольких дефектов. Более того, для парирования k-го дефекта объекта управления могут потребоваться целенаправленные изменения не только m-го, а всех параметров регулятора. Это может привести к тому, что соотношения (3) и (7), которые при диагностировании служат для идентификации дефектов, в данном случае не обеспечат получение однозначного результата. Следовательно, нужна дополнительная информация в виде, например, диагностических приз-

наков, которая совместно с симптомами отказов, записанными на языке показателей эффективности (показателей качества САУ), позволит решить задачу автоматизации процесса настройки ПИД-регулятора.

В общем случае в качестве исходной информации для формирования словаря диагностических признаков можно использовать дополнительные характеристики переходных процессов объекта управления $y(t)$ и $\dot{y}(t)$. Однако более информативными, на наш взгляд, являются характеристики переходных процессов регулятора $u(t)$ и $\dot{u}(t)$. Основанием для такого вывода является симметрия замкнутой системы автоматического управления относительно управляющего воздействия $u(t)$, применяемая при синтезе алгоритмов управления методом обратных задач динамики [6].

В результате *i*-й отказ системы будет описываться скорректированным симптомом $\left(S_i^C\right)^*$, что позволит сформировать отношение вида

$$D_n^P \Rightarrow \left(S_i^C\right)^* \Leftarrow D_k^O, \qquad (8)$$

с помощью которого наладчик получит однозначную информацию о необходимых численных значениях настраиваемых параметров ПИД-регулятора в виде дефекта D_n^P.

Заключение

В данной работе предложен способ наладки ПИД-регуляторов, который позволит автоматизировать процесс наладки, повысить её эффективность и сократить временные затраты, необходимые на её осуществление. Для решения этой задачи следует повысить информированность наладчика и полностью или частично исключить влияние того фактора, при котором наладчик руководствуется лишь собственным опытом и интуицией, таким образом повысив эффективность процесса наладки. Введение понятий работоспособности и дефектов позволит построить нам две диагностические модели – для объекта управления и для регулятора. Использование принципа симметрии позволит получить однозначную информацию о необходимых численных значениях параметров регулятора.

Литература

1. Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования : Справочное пособие / [Клюев А.С., Лебедев А.Т., Клюев С.А., Товарнов А.Г.]; под ред. А.С. Клюева. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 368 с. : ил.
2. ГОСТ 27.002-83. Надежность в технике. Термины и определения.
3. Надежность и эффективность в технике : справочник в 10 кн. / под ред. В.И. Кузнецова и Е.Ю. Барзиловича. – М. : Машиностроение, 1990. – Кн. 8 : Эксплуатация и ремонт. – 320 с.
4. Осис Я.Я. Определение понятия «сложный объект диагностики» / Я.Я. Осис // Кибернетика и диагностика. – Вып. 2. – Рига : Зинатне, 1968. – С. 5-12.
5. Основы технической диагностики / [под ред. П.П. Пархоменко]. – М. : Энергия, 1976. – 464 с.
6. Крутько П.Д. Обратные задачи динамики в теории автоматического управления : учебное пособие для втузов / Крутько П.Д. – М. : Машиностроение, 2004. – 576 с.

В.О. Рєзніков, П.С. Харченко
Використання діагностичної інформації під час настроювання ПІД-регуляторів
У роботі розглянуто спосіб настроювання параметрів ПІД-регуляторів, який ґрунтується на принципах працездатності і дефектах, діагностичних моделях і симетрії САУ.

V.A. Reznikov, P.S. Kharchenko
Diagnostic Information Usage under Tuning of PID-controllers
The way of tuning of PID-controllers based on the principles of efficiency and defects, diagnostic patterns and symmetries of ACS is considered.

Статья поступила в редакцию 19.10.2009.